

Soluções Tecnológicas para a Mobilidade de Pessoas com Deficiência Visual: Realidade Virtual e Navegação Interna com Wi-Fi

Ana Souza, Davi Fonseca, Glauco Amorim, Joel dos Santos

ana.souza.1@aluno.cefet-rj.br, davi.fonseca@aluno.cefet-rj.br, glauco.amorim@cefet-rj.br, joel.santos@cefet-rj.br

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)

Rio de Janeiro, RJ, Brazil

ABSTRACT

This study addresses navigation challenges for visually impaired individuals by developing two complementary solutions. First, a Virtual Reality (VR) training tool with multimodal feedback (audio and tactile) was created to help users develop spatial skills and mental mapping abilities safely, without real-world risks. The VR system supports Orientation and Mobility training techniques. Second, a cost-effective indoor localization system using Wi-Fi technology was developed to provide real-time positioning information. Experimental evaluation with 15 university participants showed excellent acceptance of the multimodal VR feedback, with users naturally adopting spatial reference techniques like wall-following. The localization system was tested across 135 reference points in CEFET buildings, achieving accurate area identification through a hybrid approach combining Euclidean distance methods. Both solutions address the high costs of existing assistive technologies while improving independent mobility for visually impaired people.

KEYWORDS

orientação e mobilidade, pessoa com deficiência visual, realidade virtual, ambiente virtual, feedback multimodal, localização em ambientes internos, localização por impressão digital

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da *World Health Organization*, existem cerca de 2,2 bilhões de pessoas com deficiência visual (PDVs) no mundo [9, 11]. No Brasil, o IBGE registra mais de 6,5 milhões de PDVs, sendo 7,7% com deficiência total [7].

PDVs enfrentam desafios significativos para determinar sua posição espacial relativa a objetos e pessoas, além da identificação de rotas seguras [9]. A Orientação e Mobilidade (O&M) é uma disciplina educacional especializada na reabilitação de pessoas com deficiência visual, focando no desenvolvimento de habilidades espaciais e cognitivas necessárias para mobilidade independente e segura [9, 12]. Esta área fundamenta-se na compensação sensorial, onde audição e tato tornam-se canais primários para coleta de informações ambientais. A audição permite estabelecer distância, direção e identificação de fontes sonoras, sendo tão precisa quanto pistas visuais para navegação [2, 9], enquanto o tato oferece informações

sobre texturas, formas e obstáculos, auxiliando na construção de mapas mentais espaciais [9].

Ambientes virtuais baseados em áudio 3D demonstram eficácia na construção de representações mentais espaciais, permitindo treinamento seguro sem exposição a riscos reais [2, 9]. Neste contexto, foi desenvolvida uma ferramenta de Realidade Virtual (RV) que simula ambientes reais através de *feedbacks* multimodais. O sistema permite que usuários explorem virtualmente espaços utilizando as mãos ou bengala, recebendo informações sonoras espacializadas e resposta tátil através de vibração. Esta abordagem possibilita o desenvolvimento controlado de habilidades de O&M, permitindo que PDVs construam mapas mentais específicos de ambientes que posteriormente navegarão fisicamente.

Complementarmente, sistemas de localização interna fornecem informações contextuais precisas sobre posicionamento em ambientes fechados [15]. Foi implementado um sistema baseado em Wi-Fi que determina a localização do usuário em tempo real, fornecendo informações sobre salas, corredores e pontos de referência importantes. Este sistema integra-se à ferramenta de RV, criando um fluxo completo onde o conhecimento espacial adquirido virtualmente correlaciona-se diretamente com informações de localização no ambiente real.

Este trabalho¹ está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados; a Seção 3 detalha a metodologia aplicada no desenvolvimento das ferramentas de RV e localização interna; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos; e, finalmente, a Seção 5 traz as conclusões.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos estudos vêm explorando o uso de ambientes virtuais para o treinamento de habilidades de orientação e mobilidade (O&M) em pessoas com deficiência visual. Os autores em Júnior et al. [9] apresentaram o Player ENA, ferramenta desenvolvida em *Unity* que permite a criação de mapas tridimensionais simplificados, nos quais os alunos exploram ambientes virtuais guiados por *feedbacks* sonoro e háptico. Trabalhos posteriores ampliaram a complexidade dos cenários e passaram a avaliar mais diretamente a transferência de habilidades para o mundo físico. Já os autores em [4], [5] e [2] utilizaram jogos com áudio 3D, demonstrando que usuários com deficiência visual foram capazes de construir mapas cognitivos detalhados e aplicar esse conhecimento em ambientes reais.

In: V Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica (CTIC 2025). Anais Estendidos do XXXI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (CTIC'2025). Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Porto Alegre: Brazilian Computer Society, 2025.
© 2025 SBC – Sociedade Brasileira de Computação.
ISSN 2596-1683

¹Este estudo deriva de projeto amplo do CEFET/RJ sobre acessibilidade visual, com escopo específico: implementação e avaliação dos módulos de RV com feedback háptico-sonoro e localização Wi-Fi apresentados. Os dois autores graduandos conduziram integralmente a pesquisa e os coautores docentes atuaram exclusivamente na supervisão acadêmica e revisão técnica.

Além do uso de realidade virtual, sistemas de localização interna têm sido desenvolvidos com o objetivo de apoiar diretamente a mobilidade em ambientes reais. O trabalho descrito em [1] propõe um guia inteligente para visitantes com deficiência visual em galerias, combinando localização por BLE e inteligência artificial embarcada. A solução fornece instruções auditivas adaptativas ao movimento do usuário e detecta obstáculos em tempo real, promovendo uma navegação mais segura e personalizada. Complementarmente, os autores em [14] revisaram o uso de tecnologias RFID em sistemas assistivos, destacando sua integração com dispositivos já utilizados por pessoas com deficiência visual, como bengalas ou celulares, e sua eficácia na orientação por meio de etiquetas espalhadas no ambiente.

A literatura evidencia convergência entre tecnologias imersivas e assistivas, integrando estímulos auditivos, táteis e espaciais para ampliar a autonomia de pessoas com deficiência visual. Este trabalho propõe uma solução integrada de treinamento em RV conectada a sistema de localização Wi-Fi, criando um fluxo onde o usuário desenvolve habilidades espaciais no ambiente virtual controlado e as aplica no mundo real com informações de localização precisas.

3 DESENVOLVIMENTO DOS ARTEFATOS TECNOLÓGICOS

A metodologia integra treinamento virtual e navegação real em duas etapas complementares. Primeiro, o usuário pratica navegação em ambiente virtual específico, desenvolvendo mapas mentais e habilidades para localização e evasão de obstáculos via *feedbacks* sonoros e táteis. Posteriormente, o sistema Wi-Fi identifica a posição no ambiente real correspondente, fornecendo informações contextuais correlacionadas aos elementos espaciais conhecidos, garantindo conhecimento necessário para interpretação autônoma e mobilidade segura.

3.1 Ferramenta Realidade Virtual

No desenvolvimento da aplicação em RV, adotou-se o mecanismo de movimentação denominado "caminhada natural", que permite ao usuário utilizar o espaço físico para locomoção no ambiente virtual, proporcionando experiência mais imersiva [16]. Esta abordagem fundamenta-se na premissa de que a correlação entre movimento físico e virtual intensifica a percepção espacial e facilita o desenvolvimento de habilidades de orientação e mobilidade.

O ambiente virtual foi estruturado com representações de objetos cilíndricos e retangulares simulando elementos comumente encontrados por pessoas com deficiência visual em trajetórias urbanas. A seleção de cilindros com diferentes alturas fundamentou-se em evidências científicas sobre aprendizagem psicomotora e orientação espacial. Conforme demonstrado por Santos et al. [13], a avaliação da locomoção durante transposição de obstáculos com alturas variadas fornece evidências positivas tanto para estratégias de aproximação quanto de ultrapassagem.

Os cilindros altos simulam objetos facilmente detectados por exploração manual ou com bengala, como mesas, balcões e lixeiras elevadas, permitindo desenvolvimento de habilidades de detecção tátil direta. Contrariamente, os cilindros baixos representam obstáculos de difícil detecção manual como lixeiras pequenas, degraus baixos e objetos no solo, exigindo maior atenção e uso sistemático

da bengala. Esta diferenciação é fundamental pois cada categoria demanda estratégias motoras específicas. Além disso, a configuração espacial dos obstáculos segue metodologias consolidadas para avaliação de mobilidade, como o descrito em Nau et al. [10].

A ferramenta incorpora representações virtuais do controle Meta Quest e uma bengala virtual acoplada, estrategicamente alinhada para aproximar-se da pegada real. Os movimentos virtuais respondem sincronicamente aos gestos do usuário, viabilizando interação natural com objetos da cena.

Os *feedbacks* constituem o núcleo funcional da ferramenta, operacionalizando a compensação sensorial através de estímulos auditivos e táteis. O sistema sonoro emite alertas durante colisões entre mão ou bengala e objetos virtuais, contato corporal com obstáculos e violações dos limites ambientais. O *feedback* tátil utiliza vibração contínua durante colisões, intensificando-se quando ocorre penetração incorreta em objetos.

A ferramenta oferece duas modalidades sonoras: modo uniforme (alarme suave padronizado) e modo realista com gravações específicas simulando colisões entre bengala e superfícies diversas. Para sons realistas, implementou-se Áudio 3D do Unity, compatível com Meta Quest, proporcionando identificação tridimensional da origem sonora.

3.2 Sistema de localização interna

O Wi-Fi foi escolhido como tecnologia base para o sistema de localização interna devido à sua ampla compatibilidade com dispositivos móveis, o que viabiliza a criação de aplicativos dedicados à localização em ambientes fechados. Além disso, o Wi-Fi aproveita a infraestrutura de rede já existente, dispensando a necessidade de instalação de hardware adicional, o que reduz significativamente os custos de implantação. A combinação entre acessibilidade, viabilidade técnica e custo mais baixo tornou o Wi-Fi a opção mais adequada para o desenvolvimento da solução proposta [3].

Com a tecnologia definida, iniciou-se o desenvolvimento de um aplicativo mobile capaz de estimar a posição do usuário com base nas leituras do RSSI (Received Signal Strength Indicator) das redes próximas. A técnica adotada foi a de impressão digital (fingerprinting), que permite capturar características únicas do ambiente a partir das variações do sinal Wi-Fi, tornando o sistema mais preciso e confiável. Essa abordagem é dividida em duas fases: a fase offline e a fase online [17].

Na fase offline, foi construído o banco de dados de impressões digitais do ambiente. As etapas incluíram o cadastro dos pontos de acesso das redes Wi-Fi selecionadas e dos locais de referência com coordenadas conhecidas. As leituras de RSSI foram coletadas em diferentes momentos, com o objetivo de capturar a variação natural dos sinais. Para cada local de referência, foi construído um vetor representativo utilizando a média dos valores de RSSI registrados para cada ponto de acesso selecionado, refletindo o padrão característico daquele local.

Durante a fase online, o sistema coleta periodicamente os sinais RSSI dos pontos de acesso próximos, por meio do aplicativo. Cada conjunto de sinais é transformado em um vetor e comparado com os vetores armazenados na base. A estimativa de localização é feita utilizando o algoritmo WKNN (Weighted K-Nearest Neighbors), que pondera os locais de referência de acordo com a similaridade entre

os vetores. O sistema retorna a área e as coordenadas estimadas do usuário, além de indicar os locais de referência mais próximos, o que pode auxiliar na orientação de pessoas com deficiência visual.

Neste trabalho, foram avaliadas três métricas para comparar os vetores de sinais RSSI e estimar a localização do usuário: a distância Euclidiana, que calcula a raiz da soma dos quadrados das diferenças entre os sinais, sendo uma medida tradicional de proximidade; a similaridade por cosseno, que considera o ângulo entre os vetores, focando no padrão de variação dos sinais, independentemente da intensidade; e a exponencial negativa da distância Euclidiana, que aplica uma função exponencial decrescente sobre a distância, atribuindo pesos maiores aos vetores mais próximos e quase nulos aos mais distantes. A escolha da métrica influencia diretamente a precisão do sistema, especialmente em ambientes com sinais instáveis.

4 TESTES E RESULTADOS

Os testes foram realizados de forma separada. Um primeiro teste foi realizado com a ferramenta de realidade virtual para identificar se os efeitos sonoros e táteis eram relevantes. Outro teste foi realizado para verificar que configuração de sistema de localização interna era mais eficaz.

4.1 Ferramenta de Realidade Virtual

O estudo² incluiu participantes com 18 anos ou mais, excluindo aqueles com deficiências ou histórico prévio de enjoo com realidade virtual. Questionários pré-teste avaliavam a experiência com RV e sensibilidade a enjoos. O consentimento informado por escrito (TCLE) foi obtido de todos, garantindo a compreensão dos procedimentos e direitos. Todos os dados pessoais foram anonimizados e armazenados de forma segura, em conformidade com a LGPD. Para minimizar fadiga e enjoo, as sessões de RV foram limitadas a 20 minutos, com intervalos de 5 minutos após cada sessão.

Foram recrutados 15 participantes universitários sem deficiência visual declarada. O experimento consistiu em sessão única de 40 minutos utilizando Meta Quest 2 e fones de ouvido. A coleta envolveu métricas automáticas (tempo, colisões por tipo de obstáculo, contato com parede) e questionário pós-tarefa em escala Likert (1-5) [6].

Os testes compreenderam dois cenários sequenciais (Figura 1). O Cenário 1 demandava navegação em sala retangular do ponto inicial (1) até a saída (2), desviando de obstáculos. Sons tridimensionais de ar-condicionado e conversas forneciam orientação espacial, com *feedbacks* de alarme sonoro simples e vibração contínua. O Cenário 2 requeria localização de objeto metálico (objetos em destaque na Figura 1b) em uma sala quadrada, utilizando *feedbacks* sonoros realistas tridimensionais e vibração para confirmação tátil.

A análise das trajetórias revelou padrões comportamentais consistentes com técnicas fundamentais de O&M. Os participantes seguiram estratégias de rastreamento, mantendo contato próximo com paredes como guias táteis durante grande parte do percurso, comportamento típico de pessoas com deficiência visual [8].

As métricas quantitativas (Tabela 1) demonstraram diferenças significativas entre cenários. O Cenário 1 demandou 56% mais

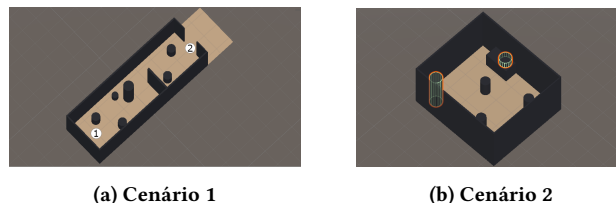


Figure 1: Cenários de teste

tempo, refletindo a necessidade de percorrer todo o corredor. Os maiores contatos contínuos com parede confirmaram o uso de paredes como referência espacial. No Cenário 1, colisões com paredes predominaram, evidenciando estratégia de navegação guiada. O Cenário 2 apresentou distribuição mais equilibrada entre objetos, confirmando eficácia dos sons realistas na distinção de alvos.

Métrica	Cenário 1	Cenário 2
Duração Média do Teste (s)	217,86	140,15
Colisões Média – Parede	43,22	18,47
Colisões Média – Objeto Alto	4,94	8,24
Colisões Média – Objeto Baixo	3,83	9,82
Maior Contato Contínuo com Parede (s)	17,46	12,80
Média Contato Contínuo com Parede (s)	5,127	4,944

Table 1: Métricas quantitativas dos cenários de avaliação

O questionário revelou preferência significativa pelo uso das mãos (4,47) comparado à bengala virtual (3,07) para localização de objetos. A baixa adoção da bengala deveu-se a relatos de “dificuldade de sincronizar o balanço” e “curva de aprendizagem elevada”. A combinação multimodal recebeu avaliação muito positiva (4,47), enquanto a distinção do som metálico obteve pontuação modesta (3,67), indicando necessidade de refinamento.

Quanto à confiabilidade dos canais sensoriais, seis participantes priorizaram vibração, três áudio isolado e seis a combinação, sugerindo que o canal tátil compensou incertezas auditivas. A análise temática de 55 entradas textuais identificou três eixos principais: orientação espacial (dificuldades em mapeamento mental, necessidade de orientação vocal), interface técnica (interferência luminosa, alertas repetitivos) e aprendizado transferível (13 participantes acreditaram na aplicabilidade em contextos reais).

A eficácia do *feedback* multimodal foi comprovada pelo alto escore (4,47) e redução de colisões no cenário de busca, demonstrando adequação da combinação sonoro-háptica para navegação virtual. O uso espontâneo de paredes como referência confirmou validade do ambiente virtual e adoção natural de técnicas de O&M.

A bengala virtual, embora reconhecida como útil, demanda refinamentos devido ao esforço cognitivo adicional que compromete adoção espontânea. Este resultado pode refletir a inexperiência dos participantes videntes com bengalas reais, evidenciando necessidade de testes com usuários com deficiência visual.

A qualidade sonora emergiu como fator determinante, pois a clareza limitada do som metálico impactou diretamente a precisão de localização, indicando necessidade de aprimoramento na reprodução de colisões reais.

²Parte do âmbito de uma pesquisa maior que foi aprovada pelo Comitê de Ética do IFRJ sob o CAAE de número 89808525.6.0000.5268

4.2 Sistema de Localização Interna

Com o objetivo de avaliar o sistema de localização, foi realizado o mapeamento dos blocos A, B, E e do Pavilhão 1 do campus Maracanã do Cefet/RJ, totalizando 135 locais de referência e 39 locais de teste. As coletas, realizadas em diferentes momentos. No total, foram identificados 191 pontos de acesso (PAs), dos quais 88 foram selecionados para compor os vetores de cada local, utilizando a média dos sinais RSSI registrados.

Três métricas de similaridade foram avaliadas em conjunto com o algoritmo WKNN: distância Euclidiana, similaridade por cosseno e exponencial negativa da Euclidiana. A menor média de erro foi de 4,46 metros, obtida com a métrica exponencial, que também apresentou maior estabilidade em diferentes valores de k , conforme mostrado na figura 2.

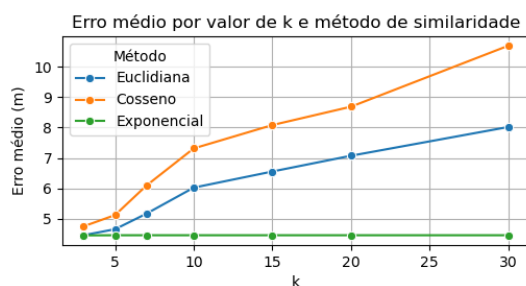


Figure 2: Gráfico de erro médio por valor de k e método de similaridade

Além da precisão na estimativa das coordenadas, também foi avaliada a capacidade do sistema em classificar corretamente a área (bloco) em que o usuário se encontra. Nesse aspecto, a métrica de distância Euclidiana se destacou, atingindo 0% de erro na classificação por área com $k=10$, evidenciando sua eficácia para essa tarefa.

Com base nesses resultados, propõe-se uma abordagem híbrida: utilizar a distância Euclidiana para identificar corretamente a área e, em seguida, aplicar a métrica exponencial para calcular as coordenadas da posição. Essa combinação melhora a precisão e a confiabilidade do sistema, tornando-o mais eficaz para a orientação em ambientes internos complexos.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma solução integrada para auxiliar a mobilidade de pessoas com deficiência visual, combinando treinamento em realidade virtual com localização interna baseada em Wi-Fi. A ferramenta de RV demonstrou eficácia comprovada através da avaliação com 15 participantes universitários, alcançando alta aceitação do *feedback* multimodal (4,47/5) e evidenciando adoção espontânea de técnicas fundamentais de O&M, como o uso de paredes como referência espacial.

O sistema de localização interna obteve precisão de 4,46 metros utilizando abordagem híbrida que combina distância Euclidiana para identificação de áreas e métrica exponencial para cálculo de coordenadas. Esta solução representa avanço significativo ao utilizar infraestrutura Wi-Fi existente, reduzindo custos de implementação comparado a tecnologias proprietárias.

Reconhece-se limitações metodológicas, incluindo amostra reduzida e ausência de participantes com deficiência visual nos experimentos. A bengala virtual (avaliação 3,07/5) e a qualidade sonora para distinção de materiais (3,67/5) demandam aprimoramentos. Estudos futuros devem priorizar validação ecológica com o público-alvo, refinamento da interface háptica e otimização dos algoritmos de localização para ampliar a aplicabilidade da solução integrada.

A integração das duas tecnologias cria um fluxo completo de capacitação e navegação, onde habilidades espaciais desenvolvidas virtualmente correlacionam-se diretamente com informações de localização no ambiente real. Os resultados indicam potencial transformador para autonomia de PDVs, embora futuras pesquisas devam incluir usuários com deficiência visual para validação ecológica mais robusta.

REFERENCES

- [1] Hyeyoung An, Woojin Park, Philip Liu, and Soochang Park. 2025. Mobile-AI-Based Docent System: Navigation and Localization for Visually Impaired Gallery Visitors. *Applied Sciences (Switzerland)* (2025).
- [2] O. Balan, A. Moldoveanu, and F. Moldoveanu. 2015. *Navigational audio games: an effective approach toward improving spatial contextual learning for blind people*. De Gruyter.
- [3] Yevhen Chervoniak and Ievgen Gorovyi. 2019. Mobile Indoor Navigation: From Research to Production. In *2019 Signal Processing Symposium (SPSymposium)*.
- [4] Elise C. Connors, Rachel E. Chrastil, Jaime Sanchez, and Lotfi B. Merabet. 2014. Action video game play and transfer of navigation and spatial cognition skills in adolescents who are blind. *Frontiers in Human Neuroscience* (2014).
- [5] Elise C. Connors, Rachel E. Chrastil, Jaime Sanchez, and Lotfi B. Merabet. 2014. Virtual environments for the transfer of navigation skills in the blind: A comparison of directed instruction vs. video game based learning approaches. *Frontiers in Human Neuroscience* (2014).
- [6] Davi Macedo. 2025. Avaliação: Navegação em VR com Feedback Sonoro e Háptico para Pessoas com Deficiência Visual. Google Forms. <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdFdOyBUTaAZvFb81Iq8JFDmuWxmoL9aaKbnZR5zNB8XvJapw/viewform> Instrumento de coleta de dados.
- [7] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Departamento de População e Indicadores Sociais*. Technical Report. IBGE, Rio de Janeiro.
- [8] João Álvaro de Moraes Felipe. 2018. *Caminhando juntos: manual das habilidades básicas de orientação e mobilidade*. Conselho Brasileiro de Oftalmologia & Laramara, São Paulo.
- [9] José Martônio L. M. Júnior, Mariana da C. Carneiro Araújo, Agebson R. Façanha, Windson Viana, and Jaime Sánchez. 2022. Uma ferramenta para a customização de ambientes virtuais para práticas de Orientação e Mobilidade. In *Workshop de Ferramentas e Aplicações - Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia)*, 28. Sociedade Brasileira de Computação.
- [10] Amy Catherine Nau, Christine Pintar, Christopher Fisher, Jong-Hyeon Jeong, and KwonHo Jeong. 2014. A standardized obstacle course for assessment of visual function in ultra low vision and artificial vision. *Journal of Visualized Experiments* (2014).
- [11] World Health Organization. 2023. *Increasing eye care interventions to address vision impairment: Technical Brief*. Technical Report. World Health Organization.
- [12] Fabiana Sofia Ricci et al. 2022. A virtual reality platform to simulate orientation and mobility training for the visually impaired. *Original Article* (2022).
- [13] Luiz Cezar dos Santos, Janine Eliza de Oliveira Silva Passos, and Alexandre Luiz Gonçalves de Rezende. 2007. Os efeitos da aprendizagem psicomotora no controle das atividades de locomoção sobre obstáculos em crianças com deficiência da visão. *Revista Brasileira de Educação Especial* (2007).
- [14] Yessica Sáez, Héctor Montes, Antony García, José Muñoz, Edwin Collado, and Rubén Mendoza. 2021. Indoor Navigation Technologies Based on RFID Systems to Assist Visually Impaired People: A Review and a Proposal. *IEEE Latin America Transactions* (2021).
- [15] Noopur Tyagi, Jaitag Singh, and Saravjeet Singh. 2022. Review of Indoor Positioning System: Technologies and Applications. In *2022 International Conference on Data Analytics for Business and Industry, ICDABI 2022*.
- [16] Martin Usoh, Kevin Arthur, Mary C. Whitton, Rui Bastos, Anthony Steed, Mel Slater, and Jr. Frederick P. Brooks. 1999. Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* (1999).
- [17] Yinqing Xie and Li Jiang. 2023. Indoor Location Algorithm Based on WIFI Location Fingerprint. *2023 6th International Conference on Information Communication and Signal Processing, ICICSP 2023* (2023).